IEC/TR 60479-4

Edition 2.0 2011-10

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

colour inside

Effects of current on human beings and livestock – Part 4: Effects of lightning strokes

Effets du courant sur le corps humain et sur les animaux domestiques – Partie 4: Effets de la foudre

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.
If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.
Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,…). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:
Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,…). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:
Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

IEC/TR 60479-4

Edition 2.0 2011-10

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

colour inside

Effects of current on human beings and livestock – Part 4: Effects of lightning strokes

Effets du courant sur le corps humain et sur les animaux domestiques – Partie 4: Effets de la foudre

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

S

ICS 13.200; 29.020

ISBN 978-2-88912-694-1

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

CONTENTS

FOREWORD 3
INTRODUCTION 5
1 Scope and object 6
2 Normative references 6
3 Terms and definitions 6
4 Physics of lightning 9
5 Interaction of strokes with human beings and livestock 10
5.1 General 10
5.2 Description of direct strike 10
5.3 Description of contact voltage 11
5.4 Description of side flash 12
5.5 Description of step-voltage 13
5.6 Description of streamer shock 15
5.7 Description of flashover 16
6 Effects of lightning strokes on the body of human beings and livestock 16
6.1 General 16
6.2 Physiological effects 16
6.3 Pathophysiological effects 17
6.4 Thermal effects 17
6.5 Comparison between effects of electric shock derived from electrical systems and lightning 17
6.6 Percentage occurrence 17
Bibliography 20

Figure 1 – Categorization of lightning [4] 10
Figure 2 – Direct stroke 11
Figure 3 – Contact voltage 12
Figure 4 – Side flash 13
Figure 5 – Step voltage 14
Figure 6 – Step voltage on quadrupeds 14
Figure 7 – Step voltage with side flash 15
Figure 8 – Upward streamer current 16

Table 1 – Causes of lightning death and most typical reported consequent disorders [11-16], [20] 18
Table 2 – Differences between low voltage and high voltage injuries from electrical systems, and lightning injuries [1], [11-16], [20] 19

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK –

Part 4: Effects of lightning strokes

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC/TR 60479-4, which is a technical report, has been prepared by technical committee No.64: Electrical installations and protection against electric shock.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 2004 and constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

– the report has been completed with additional information on the influences and effects of natural electricity in the form of lightning strokes during thunderstorms;
– the definitions and technical terms have been updated;

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

– the explanation of the basic physical mechanisms for the dynamics of lightning where specified;

– the references to the relevant literature and the list of bibliography are updated;

– figures showing the current path during different interactions of lightning with the victim's body are updated.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
64/1772/DTR	64/1804/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all the parts in the IEC 60479 series, under the general title *Effects of current on human beings and livestock*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

INTRODUCTION

IEC 60479-1, IEC 60479-2 and IEC 60479-3 deal with the effect of electric shock derived from electrical systems on the bodies of human beings and livestock. This part of IEC 60479, which is a technical report, describes the influence and effect of natural electricity in the form of lightning strokes during thunderstorms. Lightning current can consist of several uni-polar and/or bi-polar impulses with different peak values and durations; Clause 6 of IEC/TS 60479-2:2007[24][1] does not cover these effects.

The interaction of a lightning stroke with the victim's body is quite different from the usual experience with electric shock derived from electrical systems. The pathway often includes the head in lightning accidents. The importance of the cranial orifices as points of entry of lightning current has been noted, and from these the proximity of the pathway to the brainstem. The brain stem includes the respiratory centre, in contrast with pathways of shock current arising from electrical systems. In particular it should be pointed out that differences exist between accidents caused by a direct flash compared with those interactions which are caused by step voltages. Even very short single impulses of lightning can cause cardiopulmonary arrest [5], [6], [15] and [16].

The intense electric interactions with living organisms are very dangerous but, surprisingly in many cases, not always lethal. It is accepted that more than 90 % of lightning accidents involving humans are not fatal [1], [12]. Corresponding reliable data for livestock is not known. There is a large variation in outcome due to different environments, different activities of people and knowledge of first aid and quality of medical care [1], [5].

It has been necessary, therefore, to create a separate standard concerning the special effects of lightning strokes. The physical behaviour of lightning is shown as a basis. The interaction with a living body is then described, followed by the consequences for the life of the victim.

---

1 References in square brackets refer to the bibliography.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

EFFECTS OF CURRENT ON HUMAN BEINGS AND LIVESTOCK –

Part 4: Effects of lightning strokes

1 Scope and object

This part of IEC 60479, which is a technical report, summarizes the basic parameters for lightning and their variability insofar as they apply to human beings and livestock.

The possible direct and indirect interactions of strikes with bodies of living beings are indicated and the resulting effects caused by lightning currents for the organism are described.

The object of this report is to show the differences of effects on human beings and livestock due to lightning strokes versus those effects of electric shocks derived from electrical systems.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC/TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC/TS 60479-1, in addition to the following definitions, apply.

3.1 Definitions of technical terms

3.1.1
lightning flash
atmospheric discharge consisting of one or more strokes

3.1.2
lightning stroke
single electrical discharge in a lightning flash

3.1.3
lightning channel
conducting path of the lightning current

3.1.4
stepped and connecting leader
stepped leader stepping down from a cloud and a connecting leader stepping up from points of field concentration beneath, noting that they are low current non-luminous processes leading to the return stroke when the two connect

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

3.1.5
main stroke
return stroke
bright lightened stroke with strong current discharge, which is initiated at that moment when the stepped and connecting leader comes into contact with the earth

3.1.6
downward flash
lightning flash initiated by a downward leader from a cloud to earth

3.1.7
upward flash
lightning flash initiated by an upward leader from earth to cloud; that part of a stroke when the leader grows from earth to cloud

3.1.8
continuing current
mean current of the long-lasting component of the lightning current

3.1.9
peak value of current
maximum value of the lightning current

NOTE Values are given in Table A.2 and Figure A.5 of IEC 62305-1:2010 [7].

3.1.10
flash charge
time integral of the lightning current for the entire lightning duration

NOTE This value ranges from 0,2 °C to 350 °C for the majority of positive and negative lightning strokes [7].

3.1.11
impulse charge
short stroke charge
time integral of the lightning current for the impulse part of the lightning duration

NOTE This value ranges from 0,22 °C to 150 °C for the majority of positive and negative lightning strokes [7].

3.1.12
specific energy
energy dissipated by the lightning current in a unit resistance

NOTE It is the integral of the square of the lightning current for the duration of the lightning. This value ranges from 6×10^3 J/Ω to $1,5 \times 10^7$ J/Ω for the majority of positive and negative lightning strokes [7].

3.1.13
average steepness of current wave front
average rate of change of current calculated over 10 % to 90 % of peak amplitude of the wave front [7]

NOTE This value ranges from 0,2 kA/μs to 99 kA/μs for the majority of positive and negative lightning strokes.

3.1.14
stroke duration
Time from the initiation of an atmospheric discharge until the time that particular stroke has been extinguished (the range of 3.1.5) and is 15 μs to 2000 μs for the majority of positive and negative lightning strokes [7]

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

3.1.15
stroke interval
time interval between the beginnings of successive strokes

3.1.16
total flash duration
Time from the beginning the first stroke to the end of the last stroke with a time range of 0,1 ms to 1100 ms for the majority of positive and negative lightning flashes [7]

NOTE 1 Experience shows that the statistical distribution of the parameters of total flash duration as expressed by Definition 3.1.16, can be assumed to have a logarithmic normal distribution.

NOTE 2 A flash is made up of a number of strokes. A continuing current may result and continue for some time. The duration of the flash is therefore dependent on the stroke duration, the number of strokes of the flash and the duration of any continuing current. All of these are variable and statistically described.

3.2 Definitions of interactions

3.2.1
direct stroke
interaction whereby the tip of the stepped and connecting leader attaches directly to the living being (see Figure 2)

3.2.2
contact voltage
potential difference between accessible points when touched simultaneously by a living being (see Figure 3)

NOTE In some texts this has been erroneously referred to as “contact potential” or “touch voltage”

3.2.3
side flash
electric arc between two objects, at least one of which is contacted by lightning (see Figures 4 and 7))

3.2.4
step voltage
voltage on the earth’s surface between two points

[IEC 60050-195:1998, 195-05-12, modified] [25]

NOTE The possible resulting currents are shown in Figures 5 and 7. .

3.2.5
streamer current
current flowing through an individual as that individual serves as the starting point for an upward streamer which ultimately does not join a stepped leader to form a conducting channel (see Figure 8)

3.2.6
flashover
electric arc over the surface of the body carrying a significant proportion of the current

NOTE It may occur with the other combinations above (see Figure 2).

3.3 Definitions of effects on organisms

3.3.1
physiological effects
reaction due to external electrical stimulation of excitable cells, such as all kinds of skeletal muscle, smooth muscle of arteries and veins, cardiac muscle, nerves and all the structures of the brain

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

NOTE These effects are transient and stimulate the tissue within the limits of physiological function.

3.3.2
pathophysiological effects
stimulatory or inhibitory effects which lead to reversible or irreversible dysfunction of the affected structures of the organism

NOTE 1 These effects are of long duration and are produced by stimuli outside usual physiological magnitudes

NOTE 2 This group of effects includes keraunoparalysis which is a transient paralysis of the muscular structures in the line of the current. Its cause is uncertain.

3.3.3
thermal effect
pathophysiological effect of electrical current which results from local and transient heating of the affected structures up to temperatures where parts of cells and organelles become denatured

NOTE The effect of evaporation remains to be proved [17].

4 Physics of lightning

The explanation of the basic physical mechanisms for the onset and the dynamics of lightning is very complicated. Recent explanation takes into account that a tripolar layered cloud is generated by microscopic charge transfer between soft hail particles (also called graupel) and ice crystals [3].

Lightning is a transient, high-current discharge whose path length is measured in kilometres. Well over half of all flashes occur wholly within the cloud and are called intra-cloud (IC) discharges. Cloud-to-ground (CG) lightning has been studied more extensively than other forms of lightning because of its practical importance (for instance, as a cause for injuries and death, disturbances in power and communication systems and the ignition of forest fires) and because lightning below a cloud is more easily studied with optical techniques. Cloud-to-cloud and cloud-to-air discharges occur less frequently than either IC or CG lightning. All discharges other than CG are often combined under the general term "cloud discharges".

Four different types of discharges between cloud and earth have been identified (Figure 1). Negative CG flashes probably account for about 90 % of the CG discharges world-wide (Figure 1a), and less than 10 % of lightning discharges are initiated by a downward-moving positive leader (Figure 1c) [4]. Ground-to-cloud discharges are initiated by leaders that move upward from the earth (Figurse 1b et 1d). These upward-initiated flashes are relatively rare and usually occur from mountain peaks and tall man-made structures [3].

Other important physical parameters are the specific energy per stroke, the average steepness of current rise within a stroke, as well as the stroke duration and total flash duration where there is more than one stroke in a flash.

The mechanical effects are related to the peak value of the current and specific energy. The thermal effects are related to the specific energy when resistive coupling is involved and to the total charge or impulse charge when arcs develop. The highest peak values, specific energy and impulse energy occur in positive lightning strokes.

The inductive coupling is related to the steepness of the lightning current front. The highest value of this parameter occurs in subsequent negative strokes [5].

Thunder accompanies lightning and is generated by super-heated air at the channel, which causes air pressure waves.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

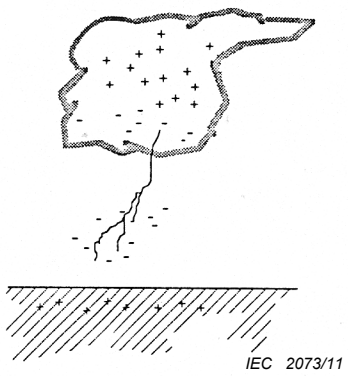


Figure 1a – Lightning begins with a negative charged leader moving downwards

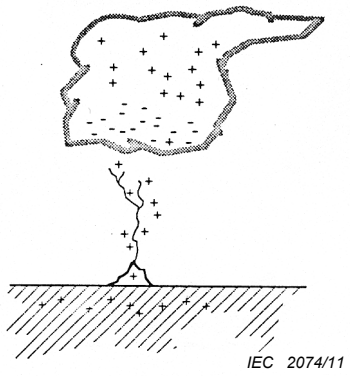


Figure 1b – Lightning has a positively charged leader, and hence this type effectively lowers negative charge to earth

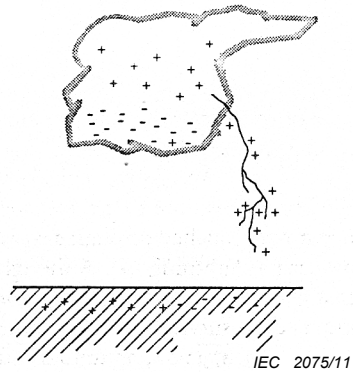


Figure 1c – Discharges are initiated by a downward moving positive leader

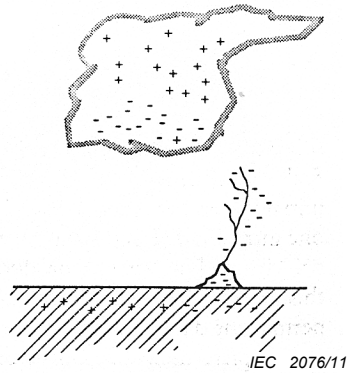


Figure 1d – The leader is charged negatively and effectively lowers positive charge (reprinted from [4])

Figure 1 – Categorization of lightning [4]

5 Interaction of strokes with human beings and livestock

5.1 General

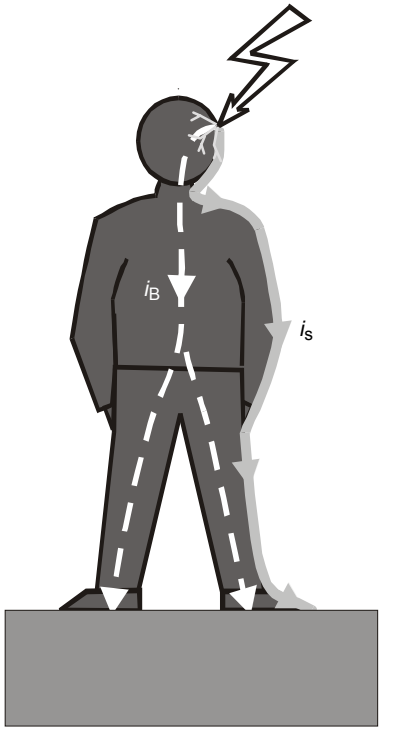
The possible interaction of lightning with human beings and livestock depends on the resulting time course and pathway of the current in the body and on its surface. As the temporal and spatial current distribution of strokes varies, so the effects on living organisms are different. The effects of magnetic fields derived from the lighting stroke upon a living organism are not thought to be significant [23].

5.2 Description of direct strike

When the tip of the downward stepped leader has reached a height of some tens of metres above ground level, the resulting field strength attains a critical value so that a short upward streamer can be initiated from a conductive object or victim. The flow of current of the whole discharge goes direct via the victim's body (Figure 2).

A description of direct lightning stroke interaction is given in 5.6.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



Key

i_B body current

i_S surface flashover current

Figure 2 – Direct stroke

5.3 Description of contact voltage

When an object, not necessarily metallic, is struck by lightning, points on its surface are raised in potential. When a person contacts one of these points and another, possibly earth, to complete a circuit, partial lightning current will flow through that person. This contact voltage is determined by a resistive and an inductive component [5] (Figure 3).

$$u = i_L R + L\mathrm{d}i_L/\mathrm{d}t$$

where

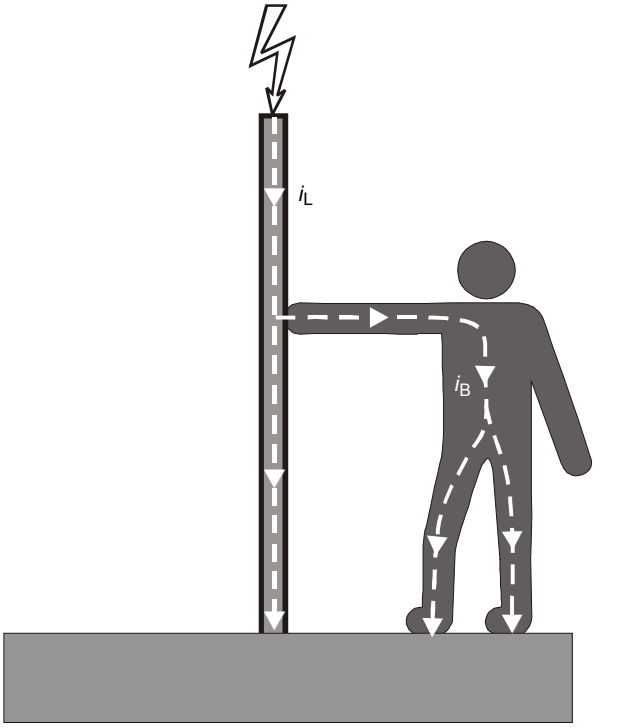
u is the resulting contact voltage;

i_L is the current through a vertical structure;

R is the resistance between the points of contact;

L is the inductance between the points of contact.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



Key

i_L lightning current

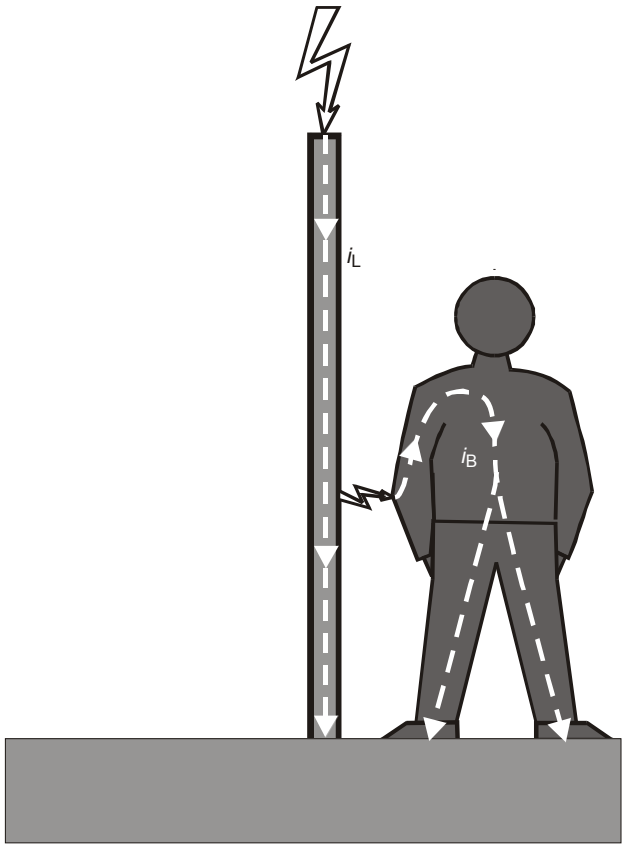
i_B body current

Figure 3 – Contact voltage

5.4 Description of side flash

When a vertical structure conducts lightning current and a person is near, but not touching it, the potential builds up on the object in the same way as with contact voltage. The resulting potential difference may exceed the electrical breakdown strength of the gap between the object and a person standing nearby. Then a side flash occurs (Figure 4)

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



Key

i_L lightning current

i_B body current

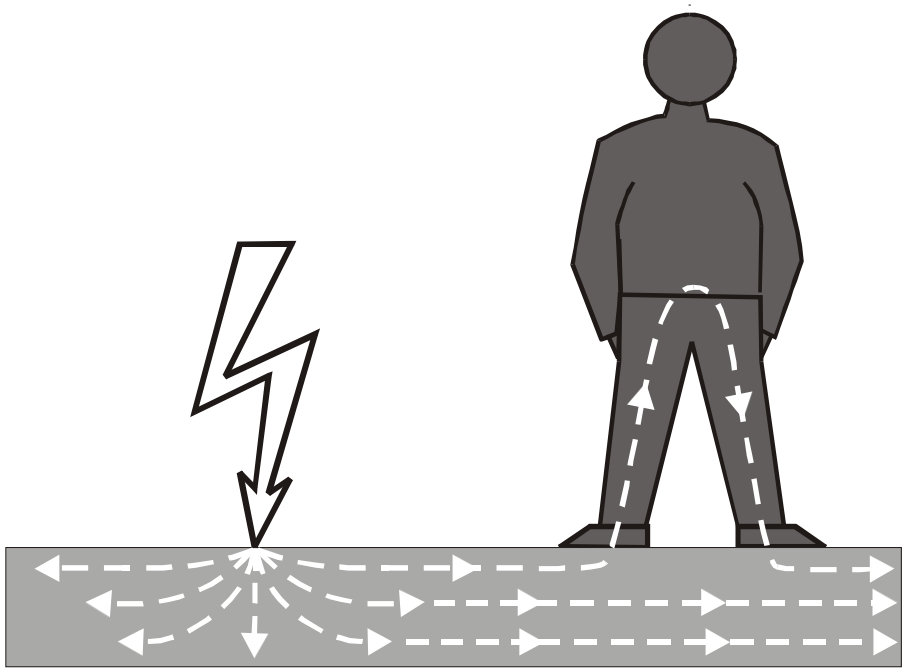
Figure 4 – Side flash

5.5 Description of step-voltage

Lightning current through the ground can lead to a step voltage (Figure 5). The pathway of the currents in quadrupeds includes the heart (Figure 6). Another reason that quadrupeds are much more likely to be killed is that they often stand in muddy ground so that their legs are in particularly good contact with the ground. Even in two-legged human beings, current can flow through the heart (Figure 7) [5]. Usually, if the pathway of step voltages for humans does not include the heart, the victim is often temporarily paralysed from the waist down (keraunoparalysis).

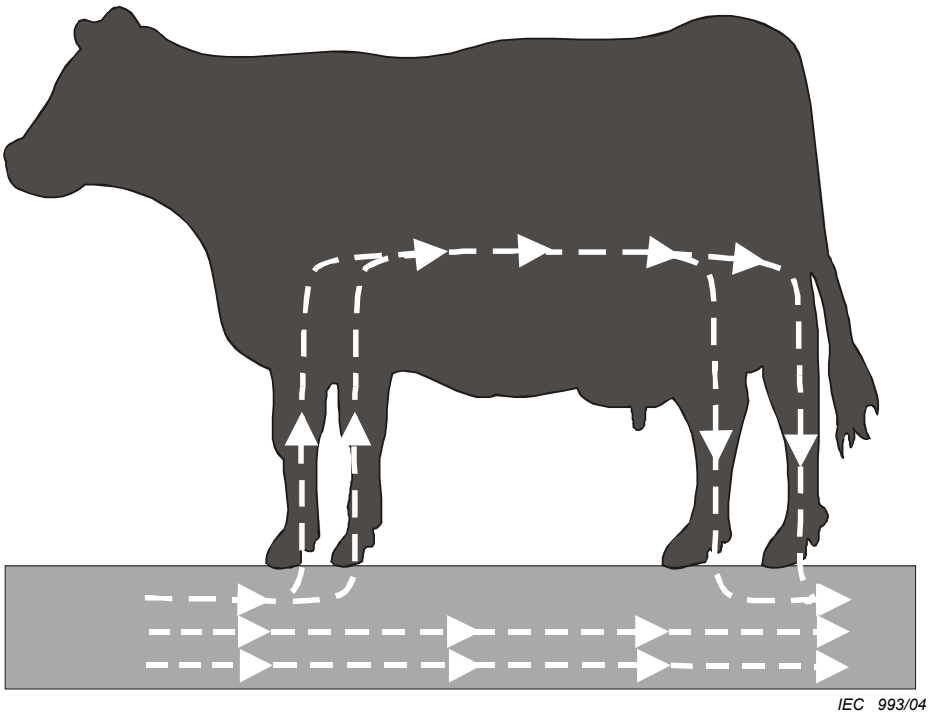
The current distribution can be extremely irregular depending on the non-uniformity of the resistance distribution in the ground.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



IEC 992/04

Figure 5 – Step voltage



IEC 993/04

Figure 6 – Step voltage on quadrupeds

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

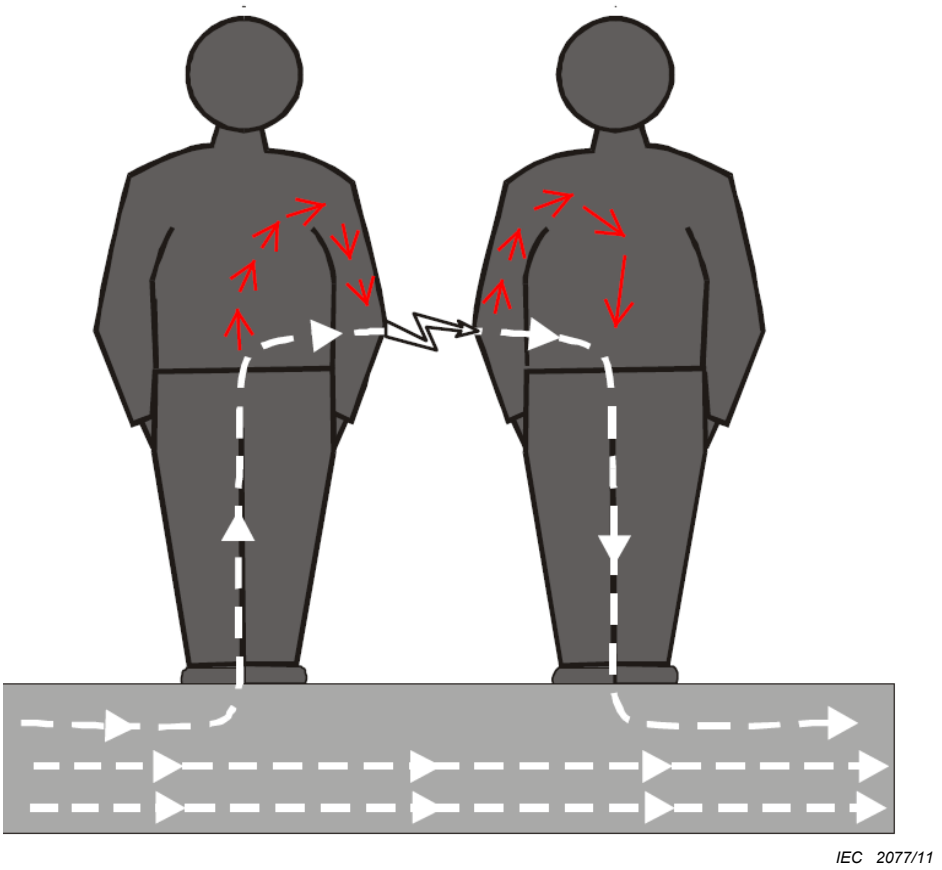


Figure 7 – Step voltage with side flash

5.6 Description of streamer shock

When a victim is within the field of the downward stepped leader, a short, upgoing leader may be generated from them which, however, does not ultimately join the stepped leader to form a conducting channel. The current required flows through a victim for a short period and is capable of producing injury (Figure 8).

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

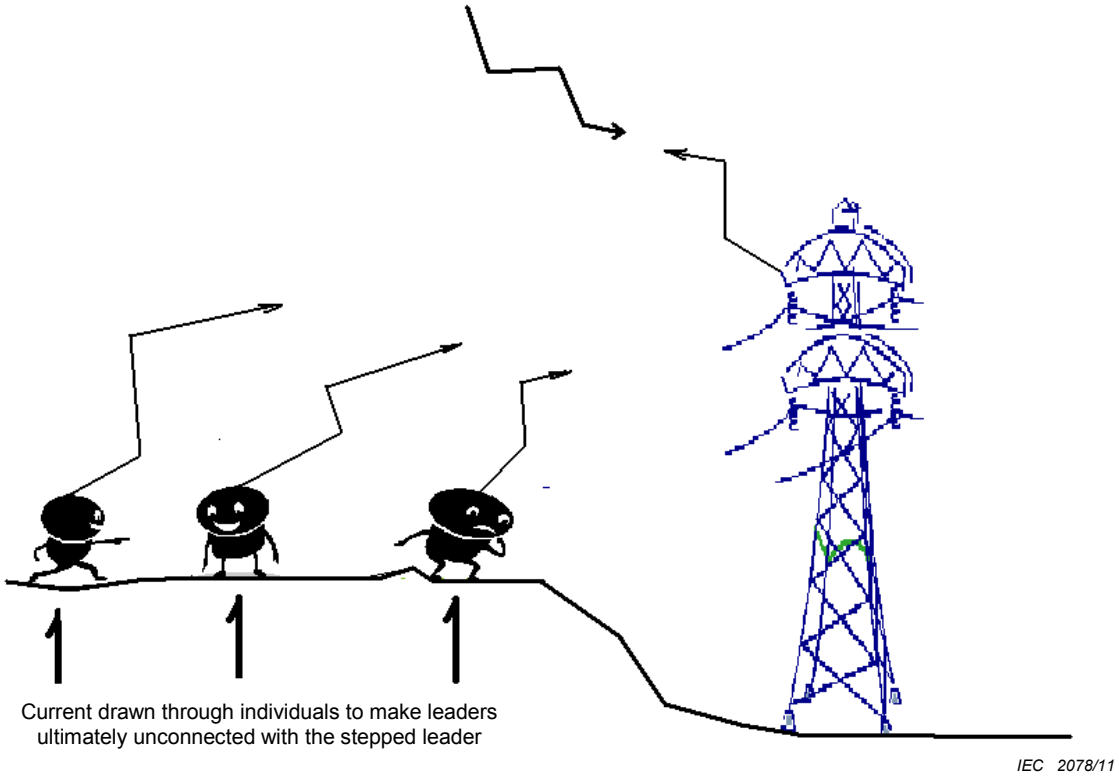


Figure 8 – Upward streamer current

5.7 Description of flashover

Flashover occurs quickly after two processes develop. A small leader current flows for about 50 μs, then a large current due to return stroke attachment, occurs for about 0,5 μs. External flashover then occurs, resulting in reduction of voltage and internal current flow. The flashover, as a path of the lightning current along the surface of the body, acts as a current by-pass for the internal parts of the body. A plasma field between the contact points (10-20 V/cm) lasts for about 0,1 s. The potential difference across the body contact points is high enough for an electric breakdown to continue in the air. After the breakdown, the current through the body is reduced to only a few amperes (Figure 1).

6 Effects of lightning strokes on the body of human beings and livestock

6.1 General

If electric current flows through the body of living beings, damage or malfunction can occur. Direct strike obviously gives rise to the greatest harm while the earth potential rise mechanism is the least injurious. Injury due to contact voltage and side flash are intermediate to these and can cause injury similar to that of direct strike.

6.2 Physiological effects

External electrical stimulation by lightning induces activity in all kinds of neuromuscular structures, including spasm in the vascular field, cardiac arrest, predominately in asystole or, rarely, fibrillation.

Cardiac conduction activity may also be disrupted, resulting in lack of coordinated heart pumping, which is the heart's essential function. Resulting loss of blood flow is fatal [19].

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Respiratory arrest also occurs and lasts much longer than cardiac arrest. While the heart may restart, a secondary cardiac arrest due to lack of oxygen will occur, and the pump action is lost again, unless ventilation is given.

Involuntary skeletal muscle reactions may happen, which can lead to strong contractions and seizures, which can result in secondary effects.

6.3 Pathophysiological effects

These effects include damage of a non-thermal nature to excitable and non-excitable cells. Membrane rupture is possible, even perforation. Recovery may not take place immediately or may never occur. Secondary effects may have serious consequences. Table 1 summarizes specific features of lightning injury progression, and consequences for body physiology.

6.4 Thermal effects

Table 1 also summarizes the range of injuries seen from lightning stroke and shows changes of pathophysiology. Thermal effects of lightning current, for example burns, are not marked and this is thought to be due to the very short duration of lightning impulses.

6.5 Comparison between effects of electric shock derived from electrical systems and lightning

It has been emphasized that injury from lightning stroke is markedly different from that due to either low voltage or high voltage electricity derived from electrical systems, whether domestic or industrial. Table 2 summarizes these differences. There is, however, no basis to the dogma that recovery after ‘longer than normal’ cardiac arrest can occur. Details of the specific nature of lightning injuries are covered in [11], [13], [15], [16] and [19]

6.6 Percentage occurrence

Present knowledge suggests that the various mechanisms of lightning shock occur as follows:

– direct strike 3 % – 5 %;
– side flash 20 % – 25 %;
– contact potential 15 % – 20 %;
– step voltage 40 % – 50 %;
– upward streamer 10 % – 15 %.

Present knowledge suggests the mortality rate is approximately 10 %.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Table 1 – Causes of lightning death and most typical reported consequent disorders [11-16], [20]

LIGHTNING DEATH	Mostly asystole, some ventricular fibrillation Cardiorespiratory progression (see 6.1) Secondary multisystem failure
CARDIOPULMONARY INJURY	Arrhythmiae Sympathetic, and cardiac induced, arterial pressure changes Electrocardiographic changes, usually transient Cardiac failure Pulmonary contusion and oedema
IMMEDIATE NEUROLOGICAL EFFECTS	Loss of consciousness Brain stem dysfunction Cerebellar and basal ganglion haemorrhage Peripheral neurovascular spasm. Keraunoparalysis Intracerabral haemorrhage Seizures
LONG TERM NEUROLOGICAL EFFECTS	Paraesthesiae Pain syndromes Neuropathy Parkinsonism Spinal cord change
IMMEDIATE PSYCHIATRIC EFFECTS	Confusion Amnesia Anxiety Aphasia, and hysterical changes
LONG TERM PSYCHIATRIC EFFECTS	Depression, possibly organic Anxiety states Phobias Psychotic Illness, both production and alteration of existing disease Memory disorder Sleep disorder Loss of cognitive ability Aesthenia and fatigue Post traumatic stress disorder
BURNS AND CUTANEOUS MARKINGS	Entry and exit burns (often deep and closely circumscribed) Flash Linear burn Arborescent burn (Lichtenberg figure, ferning) Punctate flower like burn (possibly a variant of the Arborescent burn) Contact burn
CONTUSIVE BLAST INJURY	Exploded, torn and shredded clothing Body contusion (skin, brain, lung, bowel, etc.)
TRAUMA	Blow bruise laceration Fractures These may be primary to the strike, or secondary due to induced motion
SPECIAL SENSES	Tympanic membrane rupture Deafness Tinnitus and vertigo Blindness Retinitis Retinal detachment and macular and retinal punctation Cataract Uveal Inflammation

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Table 2 – Differences between low voltage and high voltage injuries from electrical systems, and lightning injuries [1], [11-16], [20]

Item	Low voltage	High voltage	Lightning
Voltage	<1 000 V a.c. or <1 500 V d.c.	>1 000 V a.c. or >1 500 V d.c.	Complex and impulsive, with or without flashover
Location	Domestic and industrial, including workplace Rural Children represented	Industrial – mostly electrical workers	Outdoors, more often during recreation Indoors, telephone or other line mediated
Common mechanisms	Interference with appliances and other electrical equipment Faulty appliances Amateur wiring, especially extension leads Ladder contact with live parts	Installation service and repair Inadequate safety practice or procedures Misuse of equipment	Direct strike Side flash or contact potential Step voltage Streamer initiation
Type of current	50/60 Hz a.c.	50/60 Hz a.c.	Impulse discharge, often multiple, and possible continuing component
Source	Domestic and workplace outlets wiring and appliances	Reticulation, installations, supply and control mechanisms	Natural atmospheric discharge
Duration of Contact	Maybe prolonged if let-go exceeded	Short or long, short being more likely if thrown	Impulsive and ultrashort, though continuing current may occur
Mode of death	Ventricular fibrillation (VF)	VF more likely than asystole	Asystole much more likely than VF (also respiratory paralysis)
Burns	Often severe, deep, and extensive necessitating amputation and/or fasciotomy	May be similarly severe	Minor
Lichtenberg figures	Absent	Can be present	Common
Electro-poration	Demonstrated	Demonstrated	Yet to be determined
Muscle damage	Common	May be present	Rare
Renal consequences	Myoglobinuria common	Myoglobinuria known	Rare
Direct traumatic tissue damage (by current)	Common	Common	Known but rare
Secondary traumatic tissue damage (by being thrown)	Common	Common	Known but rare
Prevention	Protective devices and design Personal practice	Protective devices and design Safety codes	Codes of personal behaviour Structure protection Crowd Protection
First aid	Avoid injury to rescuer separating victim from source Alternatively switch current off CPR (cardio pulmonary resuscitation) as per known protocol obtain medical help	Avoid injury to rescuer separating victim from source Alternatively switch current off CPR (cardio pulmonary resuscitation) as per known protocol. Obtain medical help	Immediate CPR (cardio pulmonary resuscitation) Summon medical help

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Bibliography

[1] LOPEZ. R.E., HOLLE, R.L., "*Changes in the Nature of Lightning Deaths in the United States during the Twentieth Century*", Journal Climate (1997) 11, 2070-2077

[2] BERGER, K,, "*Blitzforschung und Personen-Blitzschutz*", ETZ (1971) A92, 508-511

[3] WILLIAMS, E.R., "*The Electrification of Thunderstorms*", Scientific American (1988) November, 47-65

[4] UMAN, M.A., KRIDER, E.P., "*Natural and Artificial Initiated Lightning*", Science (1989) 246, 457-464

[5] GOLDE, R.H., LEE, W.R., "*Death by Lightning*", Proc. IEE (1976) 123, 1163-1180

[6] KAROBATH, H., "*Der Blitzunfall*" (1975) Verlag Gerhard Witzstock, Baden-Baden

[7] IEC 62305-1:2010, *Protection against lightning – Part 1: General principles*

[8] IEC 62305-2:2010, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*

[9] IEC 62305-3:2010, *Protection against lightning – Part 3*: *Physical damage to structures and life hazard*

[10] IEC 62305-4:2010, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

[11] ANDREWS, C., COOPER, M.A. et al., *Disease-a-month* (1997) 43, 871-891

[12] BERGER, K., BIEGELMEIER, G., KAROBATH, H., "*Über die Wahrscheinlichkeit und den Mechanismus des Todes bei Blitzeinwirkungen*", Bull. SEV, (1978) 69.8, 361-366

[13] ANDREWS, C., DARVENIZA, M., MACKERRAS, D., "*Lightning injury-Review of Clinical Aspects, Pathophysiology and Treatment*": Adv Trauma 4 (1989) Year Book Medical Publishers Inc., 241 – 287, YBMP, III. USA

[14] GOURBIÈRE, E., "*Lightning injuries to humans in France – 11th international conference on atmospheric electricity*"

[15] COOPER, M.A., ANDREWS, C.-J., "*Lightning injuries*", in Auerbach, P., (ed), Management of Wilderness and Environmental Emergencies, ed 4, Mosby Will Wilk, 2000

[16] ANDREWS, C.J., COOPER, M.A., "*Lightning injuries: Electrical, Medical and Legal Aspects"*, CRC Press, Boca Raton, Fla., 1992, 193pp

[17] LEE, W.R., CRAVALHO, E., BURKE, J.F., "*Electric Trauma*", Cambridge University Press, 1992, 440pp

[18] ISHIKAWA, T., "*Prevention Against Lighting Accidents in Japan*", Nihon Univ. J. Med., 24:1-14, 1982

[19] ANDREWS, C.J., "*Structural Changes after Lightning Strike, with Special Emphasis on Special Sense Orifices as Portals of Entry*", Semin, Neurol, Thieme Med Publ., 15(3):296-303, 1995

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

[20] GOURBIERE, E., LAMBROZO, J., FOLLIOT, D., GARY, C., "*Complications Et Séquelles Des Accidents Dus À La Foudre*", Rean Soins Intens Med Urg, 11:138-161, 1995

[21] COOPER, M.A., "*A fifth mechanism of lightning injury*" 9 Acad Emerg Med 172-4, 2002

[22] ANDERSON, R.B., JANDRELL, I. and NEMATSWERANI, H., "*The Upward Streamer mechanism versus step potentials as a cause of injuries from close lightning discharges*":2002, Trans SA Inst Elec Eng 33-43

[23] ANDREWS, C., COOPER, M.A., KITAGAWA, N., MACKERRAS, D., and KOTSOS, T., "*Magnetic Effects of Lightning Return Stroke Current*", J. Lightn. Rsch. (online journal), 1(1)

[24] IEC 60479-2, *Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects*

[25] IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 23
INTRODUCTION 25
1 Domaine d'application et objet 26
2 Références normatives 26
3 Termes et définitions 26
4 Phénomène physique de la foudre 29
5 Interaction entre les coups de foudre et les personnes ou les animaux domestiques 30
5.1 Généralités 30
5.2 Description d'un coup de foudre direct 30
5.3 Description de la tension de toucher 31
5.4 Description de l'éclair latéral 32
5.5 Description de la tension de pas 33
5.6 Description du choc de décharge "dard" 35
5.7 Description de l'amorçage 36
6 Effets des coups de foudre sur les êtres humains et les animaux domestiques 36
6.1 Généralités 36
6.2 Effets physiologiques 37
6.3 Effets pathophysiologiques 37
6.4 Effets thermiques 37
6.5 Comparaison entre les effets des chocs électriques issus des réseaux électriques et de la foudre 37
6.6 Pourcentages d'occurrences 37
Bibliographie 41

Figure 1 – Classification de la foudre [4] 30
Figure 2 – Coup de foudre direct 31
Figure 3 – Choc dû à la tension de toucher 32
Figure 4 – Éclair latéral 33
Figure 5 – Tension de pas 34
Figure 6 – Tension de pas pour un quadrupède 34
Figure 7 – Tension de pas en cas d'éclair latéral 35
Figure 8 – Courant de décharge dard ("streamer") 36

Tableau 1 – Causes de mort dues à la foudre et troubles consécutifs les plus typiques relevés [11-16], [20] 38
Tableau 2 – Différences entre les lésions dues à la Basse Tension et la Haute Tension des réseaux électriques, et les lésions provoquées par la Foudre [1], [11-16], [20] 39

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

EFFETS DU COURANT SUR LE CORPS HUMAIN ET SUR LES ANIMAUX DOMESTIQUES –

Partie 4: Effets de la foudre

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

La CEI/TR 60479-4, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 64 de la CEI: Installations électriques et protection contre les chocs électriques.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 2004. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

– le rapport a été complété par une information supplémentaire sur les influences et les effets de l'électricité naturelle sous la forme de foudre lors d'orages;
– les définitions et termes techniques ont été mis à jour;
– l'explication des mécanismes physiques de base pour la dynamique de la foudre a été précisée;
– les références à la littérature concernée et la liste de la bibliographie ont été mises à jour;
– les figures montrant le cheminement du courant dans différentes interactions de la foudre sur le corps de la victime ont été mises à jour.

Le texte du présent rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
64/1772/DTR	64/1804/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60479, regroupées sous le titre général *Effets du courant sur le corps humain et sur les animaux domestiques*, est disponible sur le site internet de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

INTRODUCTION

Les CEI 60479-1, CEI 60479-2 et CEI 60479-3 traitent de l'effet des chocs électriques provenant des réseaux électriques, sur le corps humain et celui des animaux domestiques. Cette partie de la CEI 60479, qui est un rapport technique, décrit l'influence et les effets de l'électricité naturelle sous la forme de foudre lors d'orages. Le courant de foudre peut comprendre plusieurs chocs unipolaires et/ou bipolaires présentant des valeurs crêtes et des durées différentes; l'Article 6 de la CEI/TS 60479-2:2007[24] [1] ne traite pas ces effets.

L'interaction entre un coup de foudre et le corps de la victime est très différente de l'expérience habituelle des chocs électriques provenant des réseaux électriques. Le chemin de passage comprend souvent la tête lors d'accidents dus à la foudre. L'importance des orifices crâniens comme points d'entrée du courant de foudre a été notée, et depuis ceux-ci, la proximité du chemin vers le tronc cérébral. Le tronc cérébral inclut le système respiratoire différent du passage de courant de choc découlant des réseaux électriques. Il convient de relever, en particulier, les différences existant entre les accidents dus à un éclair direct et les interactions dues aux tensions de pas. Même des chocs de foudre simples de faible durée peuvent entraîner des arrêts cardio-pulmonaires [5], [6], [15] et [16].

Les interactions électriques élevées avec les organismes vivants sont très dangereuses, mais étonnamment dans de nombreux cas, ne sont pas toujours mortelles. Il est admis que plus de 90 % des accidents dus à la foudre ne sont pas mortels [1], [12]. Les données fiables correspondantes pour les animaux domestiques ne sont pas connues. Il existe une grande variabilité de résultat due aux environnements différents, aux activités diverses des personnes et des connaissances des premiers soins et de la qualité des soins médicaux [1], [5].

C'est pourquoi il est nécessaire de créer une norme séparée relative aux effets particuliers des coups de foudre. L'aspect physique fondamental de la foudre est présenté. Puis, l'interaction avec le corps humain est décrite, suivie par les conséquences pour le pronostic vital de la victime.

---

1 Les références entre crochets renvoient à la bibliographie.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

EFFETS DU COURANT SUR LE CORPS HUMAIN ET SUR LES ANIMAUX DOMESTIQUES –

Partie 4: Effets de la foudre

1 Domaine d'application et objet

Cette partie de la CEI 60479, qui est un rapport technique, résume les paramètres essentiels de la foudre et leur variabilité dans la mesure où ils s'appliquent aux corps humains et aux animaux domestiques.

Les interactions directes et indirectes probables entre la foudre et le corps des êtres vivants sont indiquées. Les effets résultants dus au courant de foudre pour l'organisme sont décrits.

L'objet de ce rapport est de montrer les différences existant entre les effets dus à la foudre sur le corps humain et sur celui des animaux domestiques en comparaison avec les effets des chocs électriques en provenance des installations électriques.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI/TS 60479-1:2005, *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques – Partie 1: Aspects généraux*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI/TS 60479-1, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1 Définitions des termes techniques

3.1.1
éclair
décharge atmosphérique comprenant un ou plusieurs chocs

3.1.2
coup de foudre
décharge électrique simple d'un éclair

3.1.3
canal de foudre
chemin conducteur du courant de foudre

3.1.4
traceur par bonds et décharge de capture
traceur par bonds descendant d'un nuage et décharge de capture ascendante depuis les points de concentration du champ se trouvant en dessous; à noter qu'il s'agit de processus non lumineux en courant faible conduisant à l'arc en retour lorsque les deux se connectent

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

3.1.5
décharge en retour
arc de retour
décharge très lumineuse présentant une décharge de courant fort, qui est initiée au moment où le traceur par bonds et la décharge de capture entrent en contact avec la terre

3.1.6
éclair descendant
éclair initié par un traceur descendant allant du nuage à la terre

3.1.7
éclair ascendant
éclair initié par un traceur ascendant allant de la terre au nuage; partie du coup de foudre lorsque le traceur se forme de la terre au nuage

3.1.8
courant de suite
courant moyen de la composante de la durée la plus élevée du courant de foudre

3.1.9
valeur crête du courant
valeur maximale du courant de foudre

NOTE Les valeurs sont indiquées dans le Tableau A.2 et la Figure A.5 de la CEI 62305-1:2010 [7].

3.1.10
charge d'éclair
intégrale de temps du courant de foudre pour la durée totale de l'éclair

NOTE Cette valeur varie entre 0,2 °C et 350 °C pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7].

3.1.11
charge de choc
charge de coup court
intégrale de temps du courant de foudre pour la partie choc de la durée totale de l'éclair

NOTE Cette valeur varie entre 0,22 °C et 150 °C pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7].

3.1.12
énergie spécifique
énergie dissipée par le courant de foudre dans une unité de résistance

NOTE Il s'agit de l'intégrale du carré du courant de foudre pour la durée totale de l'éclair. Cette valeur varie entre 6×10^3 J/Ω et $1{,}5\times10^7$ J/Ω pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7].

3.1.13
raideur moyenne du front de l'onde du courant
taux moyen de variation de courant calculé entre 10 % et 90 % de l'amplitude crête du front de l'onde [7]

NOTE Cette valeur varie entre 0,2 kA/μs et 99 kA/μs pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs.

3.1.14
durée du coup de foudre
Durée de l'allumage à l'extinction d'une décharge atmosphérique. Varie entre 15 μs et 2 000 μs pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7]

3.1.15
intervalle des coups de foudre
intervalle de temps entre le coup initial et les coups consécutifs

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

3.1.16
durée totale d'éclair
Durée depuis le premier éclair jusqu'au dernier éclair. Varie entre 0,1 ms et 1 100 ms pour la majorité des coups de foudre positifs et négatifs [7]

NOTE 1 L'expérience montre que la distribution statistique des paramètres de la durée totale d'éclair telle que définie dans la Définition 3.1.16, peut être présumée présenter une distribution logarithmique normale.

NOTE 2 Un éclair est composé d'un certain nombre de coups. Un courant de suite peut en résulter et se prolonger pendant un certain temps. La durée de l'éclair dépend, de ce fait, de la durée des coups, du nombre de coups de l'éclair, et de la durée de tout courant de suite. Tous ces éléments sont variables et font l'objet d'une description statistique.

3.2 Définitions des interactions

3.2.1
coup de foudre direct
interaction dans laquelle l'extrémité du traceur par bonds et de la décharge de capture touche directement l'être vivant (voir Figure 2)

3.2.2
tension de toucher
tension entre parties conductrices lorsqu'elles sont touchées simultanément par un être vivant (voir Figure 3)

NOTE Dans certains textes, elle est appelée par erreur "tension de contact".

3.2.3
éclair latéral
arc électrique entre deux objets, dont l'un au moins est touché par la foudre (voir Figures 4 et 7)

3.2.4
tension de pas
tension à la surface du sol entre deux points

[CEI 60050-195:1998, 195-05-12, modifiée] [25]

NOTE Les courants résultants probables sont indiqués dans les Figures 5 et 7.

3.2.5
courant de décharge dard ("streamer")
courant traversant un individu tandis que cet individu sert de point de départ pour une décharge "dard" ascendante qui finalement ne rejoint pas de traceur par bonds en vue de former un canal conducteur (voir Figure 8)

3.2.6
amorçage
arc électrique à la surface du corps véhiculant une part significative de courant

NOTE Il peut se produire en association avec les effets ci-dessus (voir Figure 2).

3.3 Définitions des effets sur les organismes

3.3.1
effets physiologiques
réaction consécutive à une stimulation électrique externe de cellules excitables, telles que toutes sortes de muscles maintenant le squelette, muscles lisses des artères et des veines, muscle cardiaque, les nerfs et toutes les structures du cerveau

NOTE Ces effets sont transitoires et stimulent les tissus dans les limites de leurs fonctions physiologiques.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

3.3.2
effets pathophysiologiques
effets de stimulation ou d'inhibition conduisant à des dysfonctionnements réversibles ou irréversibles des structures affectées de l'organisme

NOTE 1 Ces effets sont de longue durée et sont produits par stimuli en dehors des amplitudes physiologiques habituelles.

NOTE 2 Ces effets incluent la paralysie kéraunique qui est une paralysie transitoire des structures musculaires lors du passage du courant. Sa cause est incertaine.

3.3.3
effet thermique
effet pathophysiologique du courant électrique dû à l'échauffement local et transitoire des structures affectées jusqu'à des températures auxquelles apparaît une dénaturation de parties de cellules et d'organites

NOTE Les effets de l'évaporation restent à prouver [17].

4 Phénomène physique de la foudre

L'explication des mécanismes physiques de base relatifs à la création et au développement de la foudre est très complexe. Des explications récentes prennent en compte la génération d'un nuage à couche tripolaire par un transfert de charges microscopiques entre des particules de grêle et des cristaux de glace [3].

La foudre est une décharge transitoire sous courant élevé dont le cheminement est mesuré en kilomètres. Plus de la moitié des éclairs ont lieu dans le nuage et sont appelés décharges intra-nuages. Les éclairs nuage-sol ont été particulièrement étudiés car leur importance est essentielle (par exemple comme raison de blessures et de mort, de perturbations des réseaux de puissance et de communication, d'incendies de forêts) et parce qu'il est plus pratique d'étudier les éclairs sous un nuage avec des techniques optiques. Les décharges entre nuages et entre nuages et air sont moins fréquentes que les décharges intra-nuages et entre nuage et sol. Toutes les décharges autres que nuages-sol sont souvent regroupées sous le terme général de « décharges de nuages ».

Quatre types différents de décharges entre nuages et sol ont été identifiés (Figure 1). Les éclairs négatifs comptent pour environ 90 % des décharges nuages-sol dans l'ensemble du monde (Figure 1a) et moins de 10 % des décharges de foudre sont initiées par un traceur positif descendant (Figure 1c) [4]. Les décharges sol-nuages sont initiées par des traceurs ascendants (Figures 1b et 1d). Ces éclairs ascendants sont relativement rares et apparaissent habituellement sur des sommets de montagnes et des structures de grande hauteur [3].

D'autres importants paramètres physiques sont l'énergie spécifique par coup, la raideur moyenne du courant, ainsi que la durée du coup de foudre et la durée totale d'éclair avec plusieurs impacts.

Les effets mécaniques sont liés à la valeur crête du courant et à l'énergie spécifique. Les effets thermiques sont liés à l'énergie spécifique si un couplage résistif existe et si des arcs dus à la charge totale ou la charge de choc se développent. Pour les valeurs crêtes les plus élevées, une énergie de spécifique et une énergie de choc apparaissent dans les coups de foudre positifs.

Le couplage inductif est lié à la raideur du front du courant de foudre. La valeur la plus élevée de ce paramètre apparaît dans des coups consécutifs négatifs [5].

Le tonnerre accompagne l'éclair et est généré par l'air sur-échauffé au niveau du canal entraînant des ondes de pression d'air.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

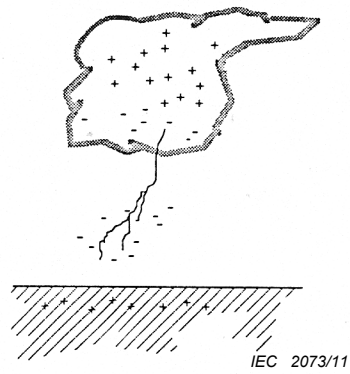


Figure 1a – La foudre débute avec un traceur descendant chargé négativement

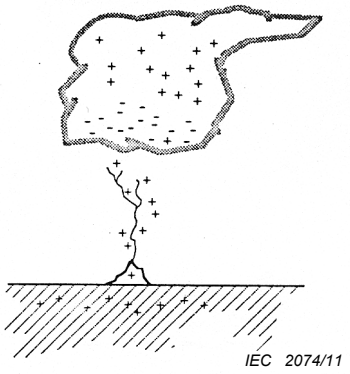


Figure 1b – La foudre comporte un traceur chargé positivement et donc, ce type diminue réellement la charge négative du sol

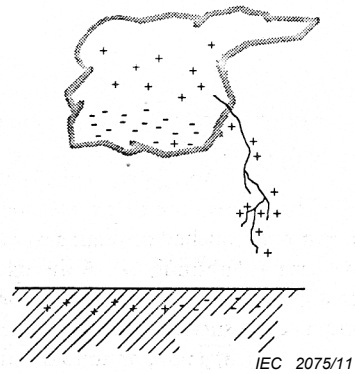


Figure 1c – Les décharges sont initiées par un traceur positif descendant

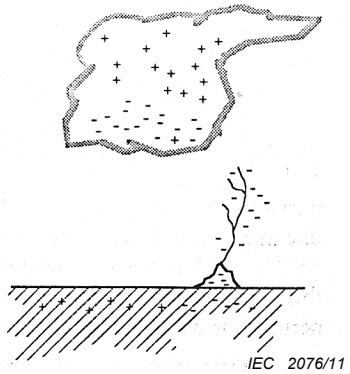


Figure 1d – traceur chargé négativement et diminuant réellement la charge positive (extrait de [4])

Figure 1 – Classification de la foudre [4]

5 Interaction entre les coups de foudre et les personnes ou les animaux domestiques

5.1 Généralités

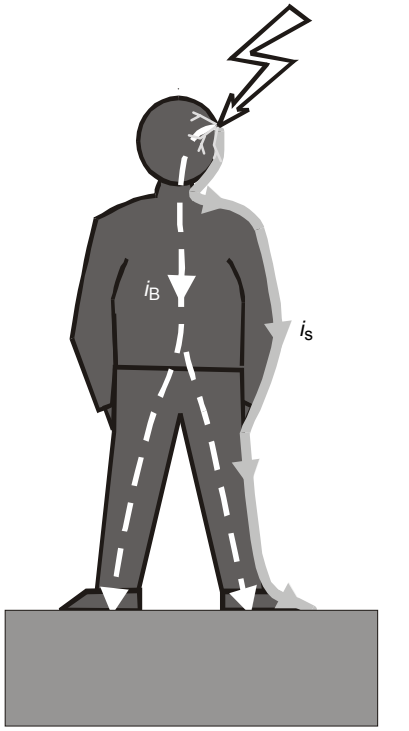
L'interaction éventuelle de la foudre sur les personnes ou les animaux domestiques est fonction du temps de passage et du cheminement du courant dans le corps et à sa surface. Comme la distribution temporelle et spatiale du courant varie, les effets sur les organismes vivants sont différents. Les effets des champs magnétiques issus du coup de foudre sur un organisme vivant ne sont pas considérés comme significatifs [23].

5.2 Description d'un coup de foudre direct

Lorsque l'extrémité du traceur par bonds descendant a atteint une hauteur de quelques dizaines de mètres au-dessus du sol, le champ résultant atteint une valeur critique telle qu'une petite décharge 'dard' ascendante peut être créée à partir d'un objet conducteur ou d'une victime. Le courant de décharge s'écoule directement dans le corps de la victime (Figure 2).

Une description d'une interaction directe de la foudre est donnée en 5.6.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



Légende

i_B courant du corps

i_s courant d'amorçage de surface

Figure 2 – Coup de foudre direct

5.3 Description de la tension de toucher

Si un objet non nécessairement métallique est frappé par la foudre, une tension est présente entre deux points de sa surface. Lorsqu'une personne touche un de ces points et un autre, éventuellement la terre, pour compléter un circuit, un courant de foudre partiel traversera cette personne. Cette tension de toucher est déterminée par une composante résistive et une composante inductive [5] (Figure 3).

$$u = i_L R + L di_L/dt$$

où

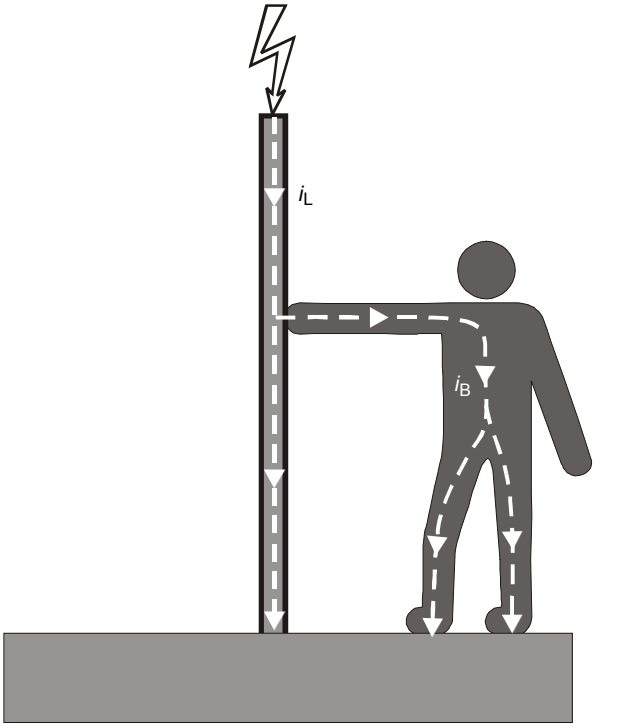
u est la tension de toucher résultante;

iL est le courant s'écoulant dans la structure verticale;

R est la résistance entre les points de contact;

L est l'inductance entre les points de contact.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



Légende

i_L courant de foudre

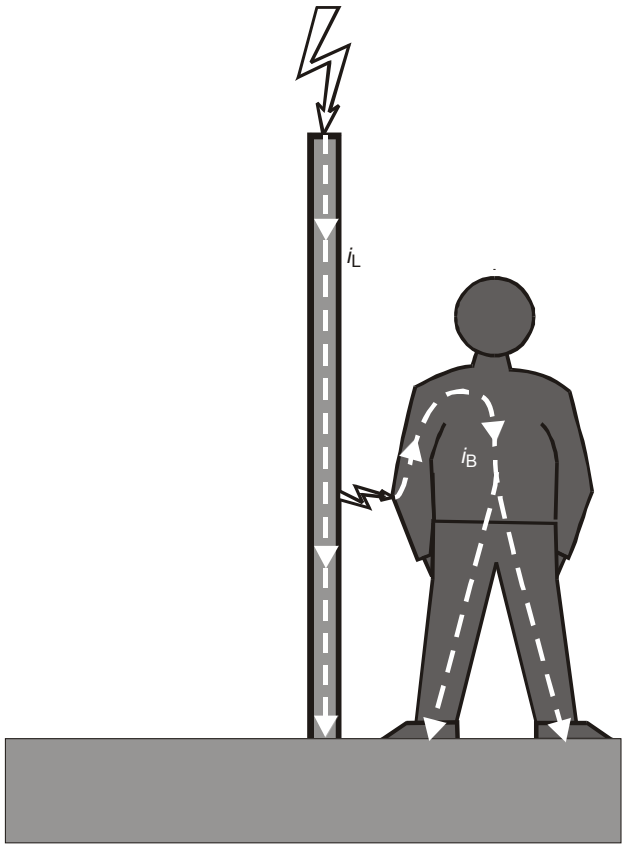
i_B courant dans le corps

Figure 3 – Choc dû à la tension de toucher

5.4 Description de l'éclair latéral

Si une structure verticale conduit le courant de foudre et si une personne est proche, mais non en contact, l'objet est soumis à un potentiel comme dans le cas de la tension de toucher. La différence de potentiel résultante peut être supérieure à la tension d'amorçage entre l'objet et la personne se tenant à proximité. Alors, un éclair latéral apparaît (Figure 4).

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



Légende

i_L courant de foudre

i_B courant dans le corps

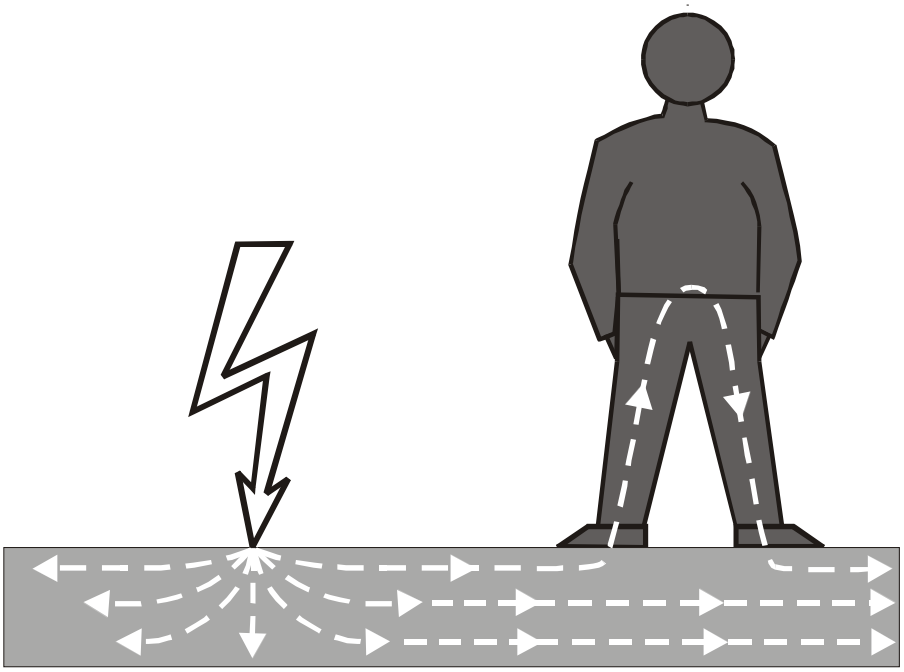
Figure 4 – Éclair latéral

5.5 Description de la tension de pas

Le courant de foudre dans le sol peut conduire à une tension de pas (Figure 5). Le cheminement du courant dans les quadrupèdes comprend le cœur (Figure 6). D'autres raisons expliquant que les quadrupèdes sont bien plus souvent susceptibles d'être mortellement frappés sont qu'ils se tiennent dans des emplacements boueux tels que leurs pattes sont en très bon contact la terre. Même dans le cas d'êtres humains, le courant peut passer par le cœur (Figure 7) [5]. Généralement, si le cheminement des tensions de pas pour des personnes ne comprend pas le cœur, ces victimes sont souvent temporairement paralysées à partir de la taille (paralysie kéraunique).

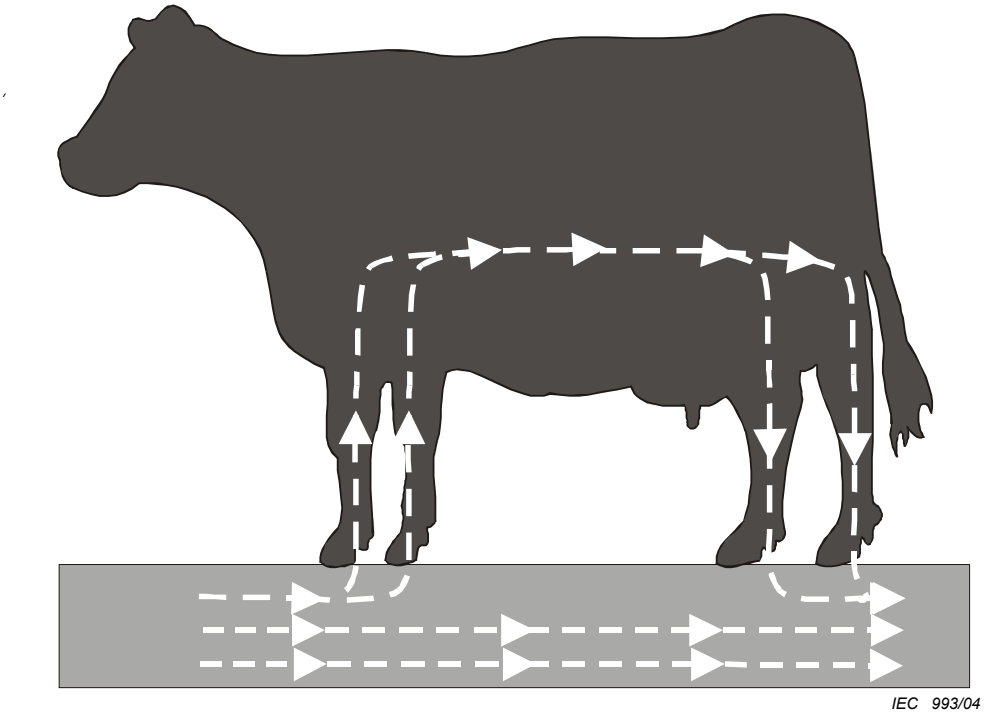
La distribution de courant peut être très irrégulière en fonction de la non-uniformité de la distribution résistive du sol.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



IEC 992/04

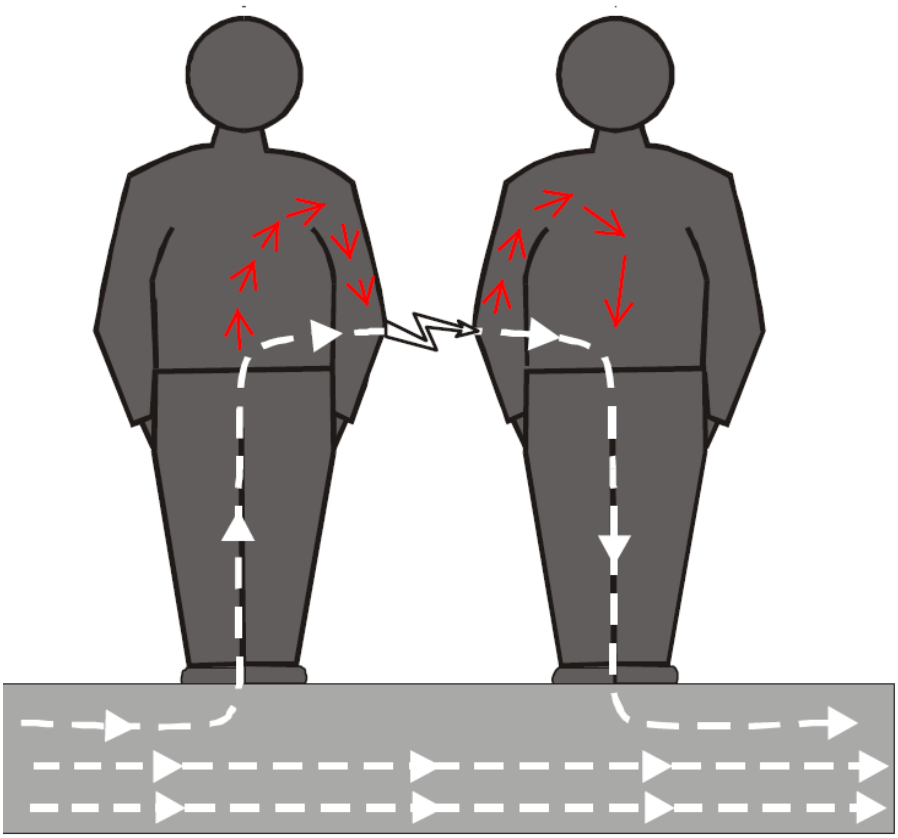
Figure 5 – Tension de pas



IEC 993/04

Figure 6 – Tension de pas pour un quadrupède

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe



IEC 2077/11

Figure 7 – Tension de pas en cas d'éclair latéral

5.6 Description du choc de décharge "dard"

Lorsqu'une victime se trouve dans le champ du traceur par bonds descendants, il peut s'ensuivre un traceur ascendant court, qui toutefois, ne rejoint pas à la fin le traceur par bonds en vue de former un canal conducteur. Le courant exigé traverse une victime pendant une courte période et est capable d'engendrer des lésions (Figure 8).

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

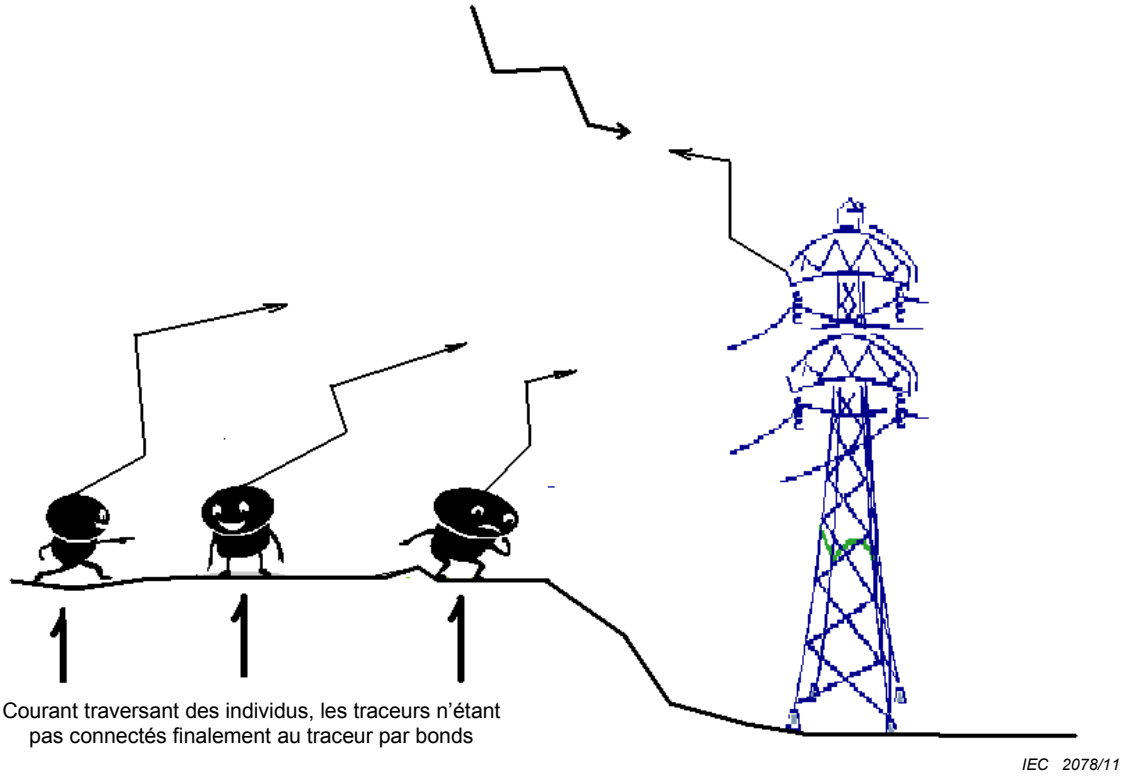


Figure 8 – Courant de décharge dard ("streamer")

5.7 Description de l'amorçage

Des amorçages apparaissent rapidement après développement de deux processus. Un courant de traceur de faible valeur s'écoule pendant environ 50 μs, puis un courant élevé dû à l'arc en retour se produit pendant environ 0,5 μs. Un amorçage externe est créé réduisant la tension et le passage du courant interne. Un amorçage est un chemin du courant de foudre sur la surface du corps et il sert de dérivation de courant pour les parties internes du corps. Un champ de plasma entre les points de contact (10-20 V/cm) dure environ 0,1 s. La différence de potentiel entre les points de contact du corps est suffisamment élevée pour un amorçage continu dans l'air. Après l'amorçage, le courant dans le corps est réduit à quelques ampères (Figure 1).

6 Effets des coups de foudre sur les êtres humains et les animaux domestiques

6.1 Généralités

Si un courant électrique s'écoule dans le corps d'êtres vivants, des dommages ou des dysfonctionnements peuvent apparaître. Les coups de foudre directs entraînent les dommages les plus importants tandis que le mécanisme d'élévation du potentiel de la terre est le moins nocif. Une blessure due à la tension de toucher et aux éclairs latéraux constitue le cas intermédiaire, et est susceptible d'entraîner des lésions similaires à celles d'un coup de foudre direct.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

6.2 Effets physiologiques

Une stimulation électrique externe due à la foudre induit une activité dans toutes les structures neuromusculaires, y compris les spasmes vasculaires, l'arrêt cardiaque, de manière prépondérante en asystole, ou, plus rarement, en fibrillation.

L'activité de conduction cardiaque peut également être interrompue, donnant lieu à un manque de coordination de la pompe cardiaque, qui est la fonction essentielle du cœur. L'arrêt de la circulation sanguine qui en résulte est fatale [19].

Un arrêt respiratoire apparaît aussi et dure beaucoup plus longtemps qu'un arrêt cardiaque. Tandis que le cœur peut redémarrer, un arrêt cardiaque secondaire peut apparaître en raison du manque d'oxygène et la fonction de pompe à sang est à nouveau perdue, sauf si une ventilation est apportée.

Des réactions musculaires involontaires peuvent apparaître, pouvant conduire à de fortes contractions et convulsions, ce qui peut ainsi donner lieu à des effets secondaires.

6.3 Effets pathophysiologiques

Ces effets comprennent des dommages de nature non thermique vers les cellules excitables ou non. Une rupture ou une perforation de la membrane est possible. La guérison peut ne pas être immédiate ou n'avoir jamais lieu. Les effets secondaires peuvent avoir des conséquences graves. Le Tableau 1 fait la synthèse de la progression des blessures dues à la foudre et des conséquences physiologiques.

6.4 Effets thermiques

Le Tableau 1 fait aussi la synthèse des blessures lors des coups de foudre et indique les variations pathophysiologiques. Les effets thermiques du courant de foudre, par exemple les brûlures, ne sont pas marqués et l'on pense que cela est dû à la très courte durée des chocs de foudre.

6.5 Comparaison entre les effets des chocs électriques issus des réseaux électriques et de la foudre

Il a été souligné que les blessures résultant de coups de foudre sont nettement différentes de celles dues aux réseaux électriques à basse ou haute tension, à usage domestique ou industriel. Le Tableau 2 fait la synthèse de ces différences. Il n'existe toutefois pas de fondement dogmatique sur le fait qu'une guérison après un arrêt cardiaque 'plus long que la normale' puisse se produire. Les détails sur la nature spécifique des blessures dues à la foudre sont traités en [11], [13], [15], [16] et [19].

6.6 Pourcentages d'occurrences

Les connaissances actuelles suggèrent que les divers mécanismes de chocs de foudre ont lieu comme suit:

– coup de foudre direct 3 % – 5 %;
– éclair latéral 20 % – 25 %;
– tension de contact 15 % – 20 %;
– tension de pas 40 % – 50 %;
– décharge 'dard' ascendante 10 % – 15 %.

Les connaissances actuelles suggèrent que le taux de mortalité est d'environ 10 %.

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Tableau 1 – Causes de mort dues à la foudre et troubles consécutifs les plus typiques relevés [11-16], [20]

MORT DUE À LA FOUDRE	Essentiellement asystole, quelques fibrillations ventriculaires Progression cardiorespiratoire (voir 6.1) Défaillances secondaires multisystème
BLESSURE CARDIOPULMONAIRE	Arythmie Variations de pression sympathiques, cardiaques induites et artérielles Variations électrocardiaques, généralement transitoires Défaillance cardiaque Contusion pulmonaire et œdème
EFFETS NEUROLOGIQUES IMMÉDIATS	Perte de conscience Dysfonctionnements du tronc cérébral Hémorragie cérébrale et des ganglions Spasmes neuro-vasculaires périphériques. Paralysie kéraunique Hémorragie intra-cérébrale Convulsions
EFFETS NEUROLOGIQUES À LONG TERME	Paresthésie Syndromes de douleur Neuropathie Maladie de Parkinson Modification de la moelle épinière
EFFETS PSYCHIATRIQUES IMMÉDIATS	Confusion Amnésie Anxiété Aphasie, et modifications hystériques
EFFETS PSYCHIATRIQUES À LONG TERME	Dépression, éventuellement d'origine organique États d'anxiété Phobies Maladie psychotique, qu'il s'agisse de l'apparition ou de la transformation d'une maladie existante Troubles de la mémoire Troubles du sommeil Perte de capacités cognitives Asthénie et fatigue Trouble de stress post-traumatique
BRÛLURES ET MARQUES CUTANÉES	Brûlures aux points d'entrée et de sortie (souvent profondes et très circonscrites) Éclair Brûlures linéaires Brûlures arborescentes (figure de Lichtenberg, en forme de fougère) Brûlure de type en fleur ponctuée (éventuellement, variante de la brûlure arborescente) Brûlure par contact
LÉSION CONTUSIVE PAR EFFET DE SOUFFLE	Vêtements arrachés, déchirés et déchiquetés Contusions du corps (peau, cerveau, poumon, intestin, etc.)
TRAUMATISMES	Lacération ecchymose coup Fractures Les deux peuvent être dues au choc initial ou à des effets induits secondaires
SENS PARTICULIERS	Rupture du tympan Surdité Acouphène et vertige Cécité Rétinite Décollement de la rétine, ponctuations maculaire et rétinienne Cataracte Inflammation de l'uvée

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Tableau 2 – Différences entre les lésions dues à la Basse Tension et la Haute Tension des réseaux électriques, et les lésions provoquées par la Foudre [1], [11-16], [20]

Objet	Basse tension	Haute tension	Foudre
Tension	<1 000 V courant alternatif ou <1 500 V courant continu	>1 000 V courant alternatif ou >1 500 V courant continu	Complexe et sous forme d'impulsion avec ou sans amorçage
Emplacement	Résidentiel et industriel, y compris lieux de travail Rural Présence d'enfants	Industriel – essentiellement électriciens	Extérieur: le plus souvent lors de récréations Intérieur: lignes téléphoniques ou autres lignes de communication
Mécanismes communs	Interférences avec les matériels ou autres équipements électriques Matériels défectueux Câblages amateurs, en particulier cordons prolongateurs Contact d'échelles avec des parties actives	Services d'installation, de maintenance et réparation Méthodes ou procédures de sécurité non appropriées Utilisation incorrecte de l'équipement	Choc direct Éclair latéral ou tension de toucher Tension de pas Initiation de décharge dard ("streamer")
Type de courant	50/60 Hz courant alternatif	50/60 Hz courant alternatif	Décharge à impulsion, souvent multiple et composante continue éventuelle
Source	Prises de courant domestiques ou professionnelles, câblage et appareils	Réseau, installations, mécanismes d'alimentation et de commande	Décharge atmosphérique naturelle
Durée de contact	Peut être prolongée si le seuil de lâcher est dépassé	Courte ou longue, plus probablement courte plus si chute	Ultra-courte et à impulsion même si un courant de suite est présent
Cause du décès	Fibrillation ventriculaire (FV)	FV plus probable qu'asystole	Asystole beaucoup plus probable que VF (également paralysie respiratoire)
Brûlures	Souvent sévères, profondes et étendues nécessitant une amputation et/ou une faciotomie	Peuvent être sévères de façon similaire	Mineures
Figures de Lichtenberg	Absence	Peuvent être présentes	Communes
Électroporation	Démontrée	Démontrée	A déterminer
Dommages musculaires	Communs	Peuvent être présents	Rares
Conséquences rénales	Myoglobinurie commune	Myoglobinurie connue	Rares
Dommages traumatiques directs des tissus (par le courant)	Communs	Communs	Connus, mais rares
Traumatismes secondaires des tissus (dus à une chute)	Communs	Communs	Connus, mais rares
Prévention	Conception et dispositifs de protection Pratique personnelle	Conception et dispositifs de protection Règles de sécurité	Règles de sécurité et comportement des personnes Protection des structures Protection des foules

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Objet	Basse tension	Haute tension	Foudre
Premiers secours	Éviter les lésions pour le sauveteur en séparant la victime de la source Sinon, couper le courant RCP (réanimation cardio-pulmonaire) selon le protocole connu d'assistance médicale	Éviter les lésions pour le sauveteur en séparant la victime de la source Sinon, couper le courant RCP (réanimation cardio-pulmonaire) selon le protocole connu Obtenir une assistance médicale	RCP (réamination cardio-pulmonaire) immédiate Demande d'assistance médicale

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Bibliographie

[1] LOPEZ R.E., HOLLE R.L., *"Changes in the Nature of Lightning Deaths in the United States during the Twentieth Century",* Journal Climate (1997) 11, 2070-2077

[2] BERGER, K., *"Blitzforschung und Personen-Blitzschutz",* ETZ (1971) A92, 508-511

[3] WILLIAMS, E.R., *"The Electrification of Thunderstorms",* Scientific American (1988) November, 47-65

[4] UMAN, M.A., KRIDER, E.P., *"Natural and Artificial Initiated Lightning",* Science (1989) 246, 457-464

[5] GOLDE, R.H., LEE, W.R., *"Death by Lightning",* Proc. IEE (1976) 123, 1163-1180

[6] KAROBATH, H., "Der Blitzunfall" (1975) Verlag Gerhard Witzstock, Baden-Baden

[7] IEC 62305-1:2010, *Protection contre la foudre – Partie 1: Principes généraux* (disponible en anglais seulement)

[8] IEC 62305-2:2010, *Protection contre la foudre – Partie 2: Évaluation du risque* (disponible en anglais seulement)

[9] IEC 62305-3:2010, *Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains* (disponible en anglais seulement)

[10] CEI 62305-4:2010, *Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures* (disponible en anglais seulement)

[11] ANDREWS, C., COOPER, M.A. et al., *Disease-a-month* (1997) 43, 871-891

[12] BERGER, K., BIEGELMEIER, G., KAROBATH, H., *"Über die Wahrscheinlichkeit und den Mechanismus des Todes bei Blitzeinwirkungen",* Bull. SEV, (1978) 69.8, 361-366

[13] ANDREWS, C., DARVENIZA, M., MACKERRAS, D., *"Lightning injury-Review of Clinical Aspects, Pathophysiology and Treatment"*: Adv Trauma 4 (1989) Year Book Medical Publishers Inc., 241 – 287, YBMP, III. USA

[14] GOURBIÈRE E., *"Lightning injuries to humans in France - 11th international conference on atmospheric electricity"*

[15] COOPER, M.A., ANDREWS, C.J., *"Lightning injuries",* in Auerbach, P., (ed), Management of Wilderness and Environmental Emergencies, ed 4, Mosby Will Wilk, 2000

[16] ANDREWS, C.J., COOPER, M.A., "*Lightning injuries: Electrical, Medical and Legal Aspects"*, CRC Press, Boca Raton, Fla., 1992, 193pp

[17] LEE, W.R., CRAVALHO, E., BURKE, J.F., "*Electric Trauma",* Cambridge University Press, 1992, 440pp

[18] ISHIKAWA, T., "*Prevention Against Lighting Accidents in Japan",* Nihon Univ. J. Med., 24:1-14, 1982

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

[19] ANDREWS, C.J., "*Structural Changes after Lightning Strike, with Special Emphasis on Special Sense Orifices as Portals of Entry",* Semin, Neurol, Thieme Med Publ., 15(3):296-303, 1995

[20] GOURBIERE, E., LAMBROZO, J., FOLLIOT, D., GARY, C., *" Complications Et Séquelles Des Accidents Dus À La Foudre"*, Rean Soins Intens Med Urg, 11:138-161, 1995

[21] COOPER, M. A., *"A fifth mechanism of lightning injury"* (2002) 9 Acad Emerg Med 172-4

[22] ANDERSON, R.B., JANDRELL, I. and NEMATSWERANI, H., *"The Upward Streamer mechanism versus step potentials as a cause of injuries from close lightning discharges"* (2002) Trans SA Inst Elec Eng 33-43

[23] ANDREWS, C., COOPER, M.A., KITAGAWA, N., MACKERRAS, D., & KOTSOS, T., *"Magnetic Effects of Lightning Return Stroke Current",* J. Lightn. Rsch. (online journal), 1(1)

[24] CEI 60479-2, *Effets du courant sur le corps humain et sur les animaux domestiques – Partie 2: Aspects particuliers*

[25] CEI 60050-195:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 195: Mise à la terre et protection contre les chocs électriques*

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when print

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

Copyrighted material licensed to BR Demo by Thomson Reuters (Scientific), Inc., subscriptions.techstreet.com, downloaded on Nov-28-2014 by James Madison. No further reproduction or distribution is permitted. Uncontrolled when printe